

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ТЕКУЧОСТІ СПЛАВУ АМГ6 НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ

О. П. Ясній, С. І. Федак, І. С. Дідич

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Abstract. There was described a jump-like deformation at static tensile test in the soft mode of loading in an AMg6 aluminium alloy. One of the perspective directions for solving the problem of predicting the deformation diagram of the AMg6 material is based on the application of the neural network (NN) method. The obtained results are generally coincide with the expected. It was revealed that the NN prediction error was 3,4%.

В умовах одновісного розтягу сплаву АМг6 при м'якому типі навантажування властива діаграма деформування [1-5]. Експериментальна методика досліджень стрибкоподібної деформації алюмінієвого сплаву АМг6 є актуальною, проте складною та затратною. Тому за наявності експериментальних даних, ефективніше моделювати числово методами машинного навчання, зокрема, нейронними мережами (НМ) [6].

Мета цього дослідження – спрогнозувати діаграму деформування матеріалу АМг6 та порівняти отримані результати.

Як відомо, стрибкоподібні прирости деформації виявлено як в експериментах на повзучість, так і на динамічну повзучість. При дослідженні мікроструктури сплаву АМг6 спостерігали наявність у матриці дисперсоїдів, витягнутих в напрямку вальцювання, котрі руйнуються при пластичній деформації матеріалу [7].

Деформування розтягом сплаву АМг6 в умовах м'якого типу навантажування супроводжується переривчастою текучістю (стрибкоподібною деформацією), що реєструється графічно у вигляді “сходинок” на діаграмі деформування $\Delta\varepsilon(\alpha_i)$ за напруження $\sigma_p(\alpha_i)$ (рис. 1).

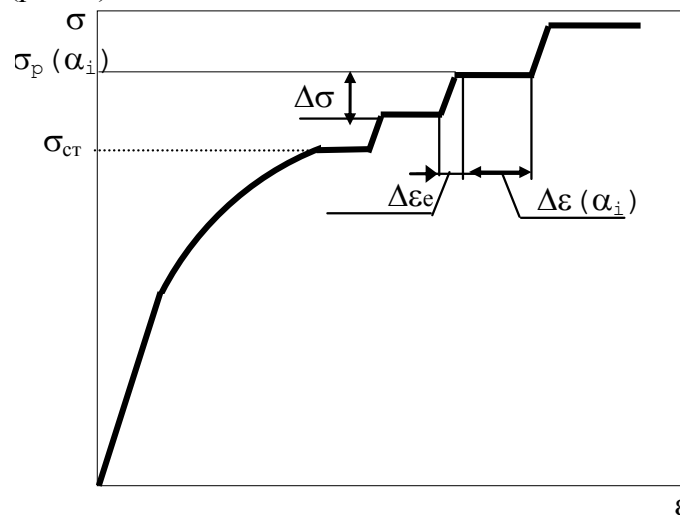


Рис. 1. Діаграма деформування сплаву АМг6 за квазістатичного розтягу в умовах м'якого типу навантажування

Як видно з рисунка, зі збільшенням напруження $\sigma_p(\alpha_i)$ зростає деформація стрибка (ширина “сходинок” на діаграмі розтягу).

Ділянка стрибкоподібного приросту деформацій за м'якого типу навантажування характеризується: напруженням початку процесу стрибків $\sigma_{ст}$, приростом напруження між стрибками $\Delta\sigma$, коефіцієнтом пропорційності на цих ділянках E' та деформацією стрибка $\Delta\varepsilon(\alpha_i)$ за відповідного напруження $\sigma_p(\alpha_i)$, тоді як символ i визначає клас дисперсоїдів, які руйнуються в процесі пластичної деформації матриці.

При перевищенні напруженням значення σ_{cm} відбуваються стрибкоподібні прирости деформації. Між стрибкоподібними приростами деформації залежність деформації від напруження є лінійною з постійним коефіцієнтом пропорційності E' . При збільшенні напруження на величину $\Delta\sigma$ відбувається наступний стрибок. Тобто весь процес розтягу в межах $\sigma_{cm} < \sigma < \sigma_e$ є чергуванням паралельних між собою ділянок і миттєвих приростів деформації або, іншими словами, чергуванням процесів зміцнення і знеміцнення матеріалу.

Проведені раніше дослідження сплаву АМг6 [7] виявили залежність між величиною миттєвих приростів деформації та відповідним максимальним напруженням розтягу (рис. 2).

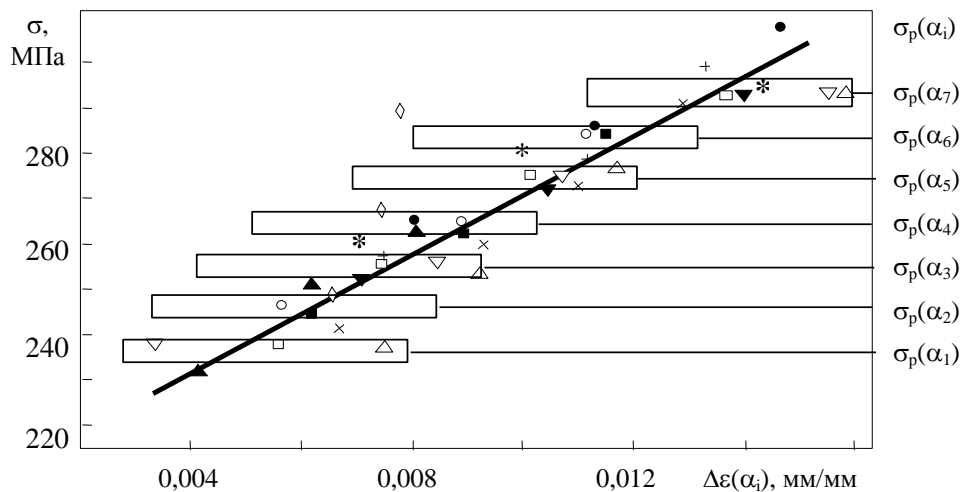


Рис. 2. Залежність величини миттєвих приростів деформації від рівня напружень при розтязі зразків зі сплаву АМг6. Різні символи відповідають 12-ти зразкам, випробуваним за однакових умов.

На основі приведенного аналізу сплав АМг6 на мікрорівні можна розглядати як композитний матеріал з в'язкою основою та крихкими включеннями. Дисперсоїди в сплаві АМг6 відіграють роль перешкод на шляху дислокацій і сприяють накопиченню навколо себе дислокаційної хмари. При відповідному значенні параметра навантажування руйнуються крихкі включення та, відповідно, розсіюється накопичена дислокаційна хмара. Процес розтріскування дисперсоїдів і розсіювання дислокаційної хмари супроводжується відповідним приростом пластичної деформації – деформаційним пробоем, який на мікрорівні супроводжується інтенсифікацією деформування в площинах ковзання та (або) ініціюванням ковзання по нових системах [8].

У випадку руйнування дисперсоїдів однакового розміру в матеріалі виникає миттєвий приріст пластичної деформації, що залежить від кількості зруйнованих дисперсоїдів $n(\alpha_i)$ та механічних характеристик матеріалу.

Діаграму деформування матеріалу АМг6 прогнозували НМ за експериментальними даними, одержаними у статті [4]. Модель машинного навчання складається із таких етапів: підготовка даних; конструювання алгоритму; його тренування на навчальних даних та перевірка на тестових.

Експериментальні дані нормалізували, поділивши кожен елемент вибірки на максимальний елемент. Тому, отримали вибірку, елементи якої знаходилися у діапазоні від 0 до 1.

Під час навчання набір даних розділили на дві нерівні частини – навчальну та тестову вибірки. Метою процесу навчання є досягнення мінімуму функції втрат, котра повинна постійно зменшуватись та яку визначають як середню квадратичну похибку (MSE):

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{prediction} - y_{true})^2.$$

(1)

де $y_{prediction}$ – прогнозований елемент вибірки; y_{true} – реальне значення елемента вибірки; n – обсяг навчальної вибірки.

За допомогою формули середнього відсотку відхилення (MAPE – Mean Absolute Percent Error) похибку прогнозування розраховують наступним чином:

$$MAPE = 100\% \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_{true} - y_{prediction}|}{|y_{true}|}. \quad (2)$$

Вибірка містила 37 елементів, з яких 70% вибрали випадково для навчальної вибірки, а 30% залишили, щоб оцінити якість прогнозування. Виявлено, що отримані результати, загалом, збігаються з очікуваними. Методом НМ побудовано залежності експериментальних стрибкоподібних деформацій ($\Delta\epsilon(\alpha_i)_{true}$) від прогнозованих $\Delta\epsilon(\alpha_i)$ ($\Delta\epsilon(\alpha_i)_{prediction}$) (рис. 3). Метод нейромереж дає похибку прогнозування 3,4%.

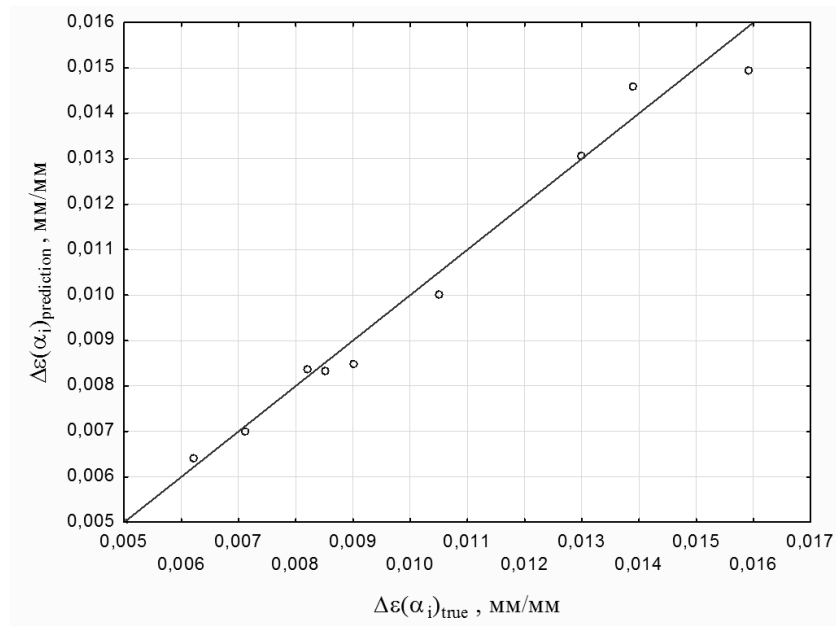


Рис. 3. Прогнозовані ($\Delta\epsilon(\alpha_i)_{prediction}$) та експериментальні ($\Delta\epsilon(\alpha_i)_{true}$) стрибкоподібні деформації одержані методом нейромереж

Параметри побудованої нейромережі наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Ім'я мережі	Алгоритм навчання	Функція помилки	Функція прихованої активації	Функція вихідної активації
MLP 1-15-1	BFGS	SOS	Логарифмічна	Логарифмічна

Основними параметрами НМ є її топологія, алгоритм навчання та активаційні функції нейронів. Крім того, параметром зупинки навчання НМ була кількість епох, яка в цьому дослідженні дорівнювала 1000.

Залежність між величиною стрибкоподібних приростів деформації та відповідним напруженням розтягу $\Delta\epsilon(\alpha_i)$ – $\sigma_p(\alpha_i)$ показано на рис. 4.

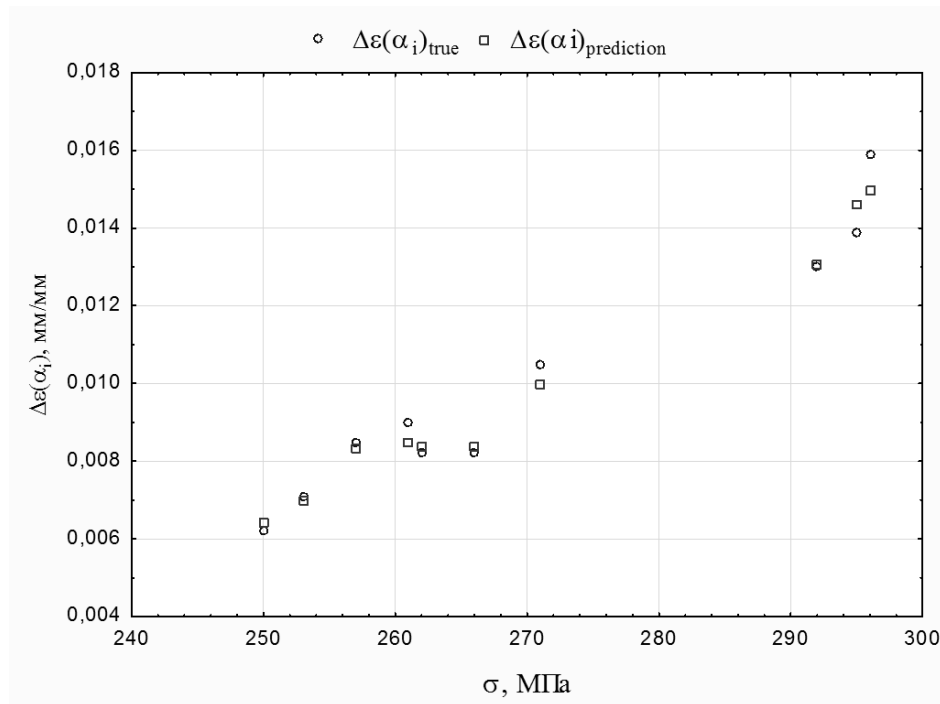


Рис. 4. Прогнозовані (□) та експериментальні (o) залежності стрибкоподібної деформації від відповідного напруження розтягу, одержані методом нейромереж

Отже, для прогнозування діаграми деформування матеріалу АМг6 використали трьохшарову НМ. Точність прогнозування становить 96, 6%, що більше за значення моделі [4]. НМ – це ефективний та потужний інструмент, котрим варто прогнозувати стрибкоподібну деформацію сплаву АМг6.

Література:

1. Стрижало В.А., Воробьев Е.В. Моделирование низкотемпературной прерывистой текучести методом импульсного подгружения // Пробл. прочности. – 1997. – №3. – С. 83-89.
2. Стрижало В.А., Воробьев Е.В. Низкотемпературная прерывистая текучесть конструкционных сплавов // Пробл. прочности. – 1993. – №8. – С. 37–46.
3. Стрижало В.А., Воробьев Е.В. О нормировании прочности в условиях низкотемпературной нестабильной пластической деформации и воздействия сильных магнитных полей // Пробл. прочности. - 1999. - №5. - С. 42-52.
4. Федак С. Стрибкоподібна деформація сплаву АМг6 при повзучості // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2003. –Т.8, ч.2. - С. 16-23.
5. Галушак М.П. Прогнозування динамічної повзучості алюмінієвого сплаву. Дис. канд. техн. наук: 01.02.04. – Тернопіль, 2000.
6. О. Р. Yasnii, О. А. Pastukh, Yu. I. Pyndus, N. S. Lutsyk and I. S. Didych: Mater. Sci. 54 (2018), pp. 43–48.
7. Ясній П.В., Гладько В.Б. Вплив циклічної розтягової складової навантаження на дислокаційну структуру сплаву АМг6 // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2002. - №3. – С. 63-68.].
8. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1970. – 472 с.